

**GUSSFEHLER- UND GEFÜGEUNTERSUCHUNGEN BEI
AUFBRENNLEGIERUNGEN IM VERGLEICH VON
SCHLEUDERGUSS UND VAKUUM-DRUCK-GUSS**

1977
—

Wolfgang Michael Küfmann
—

Aus der
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
der Universität München
Direktor: Prof.Dr.E.Kraft

GUSSFEHLER- UND GEFÜGEUNTERSUCHUNGEN BEI
AUFBRENNLEGIERUNGEN IM VERGLEICH VON
SCHLEUDERGUSS UND VAKUUM-DRUCK-GUSS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Wolfgang Michael Küfmann aus Bad Reichenhall
München

1977



Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität München

Berichterstatter:	Prof.Dr.Dr.Peter FUCHS
Mitberichterstatter:	Prof.Dr.Ewald KRAFT
Dekan:	Prof.Dr.Wolfgang SPANN
Tag der mündlichen Prüfung:	11.Oktober 1977



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555626_0062

I N H A L T

A)	Einleitung und Problemstellung	1
B)	Kritische Bewertung der Literatur	
	I. Metallurgische Probleme	
	1. Lunker und ihre Entstehung	4
	2. Das Gußgefüge	8
	II. Gußtechnische Probleme	
	1. Der Gußkanal	12
	2. Der verlorene Kopf	15
	3. Die Einbettmasse	17
	4. Temperatur von Muffel und Schmelze	21
	5. Die Gußapparate	25
C)	Eigene Untersuchungen	
	I. Methode und Material	
	1. Die verwendeten Gußapparate	28
	2. Die vergossenen Legierungen	31
	II. Versuchsanordnung	
	1. Herstellung der Kronenmodelle	32
	2. Einbetten und Gießen der Kronen	33
	III. Auswertung	35
	IV. Statistik	44
D)	Diskussion	68
E)	Zusammenfassung	73
F)	Literaturverzeichnis	74

A) E I N L E I T U N G

Zahntechnische bzw. zahnärztliche Gußapparate sind aus den Laboratorien von heute nicht mehr wegzudenken, denn Kronen, Brücken und Gußfüllungen werden ausnahmslos im Gußverfahren hergestellt. Eine entsprechend modellierte Wachsform wird in feuerfester Masse in eine Gußmuffel eingebettet. Das Wachs wird ausgebrannt und die dadurch entstehende Hohlform mit flüssiger Metallschmelze ausgefüllt.

Diese Methode, die auf dem Prinzip des "lost wax" beruht, geht zurück in die Anfänge des 20. Jahrhunderts. OLLENDORF (1905), SOLBRIG (1906) und hauptsächlich TAGGART (1907) waren es, die die Gußtechnik erstmals in der Zahnheilkunde anwendeten. TAGGART gelang es, eine exakte Hohlform herzustellen, in die die Schmelze einfließen konnte. Am 15.1.1907 stellte er in Chicago seinen neuen Gußapparat vor. Das eingebettete Wachsobjekt wurde nicht wie bisher mit heißem Wasser ausgewaschen, sondern ausgebrannt und die Schmelze mit Lachgasüberdruck in die Form gepreßt. Die Luft entwich durch die poröse Einbettmasse.

Alle nun folgenden Erfindungen auf dem Gebiet der zahnärztlichen Gußtechnik unterschieden sich nach GREVE¹⁵

nur nach der Art und Weise, in der die flüssige Schmelze in die Hohlform eingebracht wird. Dies geschieht durch

a) Zentrifugalkräfte

z.B.: Handschleuder (BARDET, HERBST)

Radschleuder (WAUER, SACHS)

JAMESON-Apparat

OETTINGER-Schleuder

Tiegelschleuder von DEGUSSA-LEUSER
(1929/30)

b) Druck von Gasen

z.B.: Lachgas bei TAGGART

Wasserdampf bei SOLBRIG

CO₂ bei STÖSSEL

Luft bei STEINBERG, ADLER

WHIP - MIX Tricaster

c) Vakuum bzw. Saugkraft

z.B.: Gußapparate nach HOFMANN oder FRINK

Jeder dieser Erfinder neuer Gußapparaturen war natürlich bestrebt, mit seinem Gerät einwandfreie, poren- und lunkerfreie Güsse zu erzielen, d.h. nach HEHRING¹⁸ Gußobjekte mit völlig glatter Oberfläche, absoluter Paßgenauigkeit und den besten metallographischen Eigenschaften. Leider sind auch die mit heutigen Apparaten gewonnenen Güsse noch mit Fehlern (Lunkern) behaftet, die aber nicht nur auf das eigentliche Gußverfahren zurückzuführen sind,

sondern unter anderem von Abkühlungsgeschwindigkeit, Temperatur der Schmelze und der Muffel abhängen. MEYERS gibt allein über 60 mögliche Fehlerquellen auf dem Weg vom Abdruck bis zum fertigen Gußobjekt an, die zu Mißerfolgen führen können. Das Gelingen eines Gusses wird von den verschiedensten physikalischen, chemischen und manuellen Gegebenheiten stark beeinflusst.

Inwieweit nun bei Kenntnis und Berücksichtigung dieser vielen Fehlermöglichkeiten die Qualität des Dentalgusses, die sowohl das Auftreten von Lunkern im makroskopischen und mikroskopischen Bereich als auch die Feinstruktur des Metalls beinhaltet, von dem jeweiligen Gußverfahren abhängig ist, soll in dieser Arbeit untersucht werden.

B) KRITISCHE BEWERTUNG DER LITERATUR

I. METALLURGISCHE PROBLEME

1. LUNKER UND IHRE ENTSTEHUNG

Es ist allgemein bekannt, daß jedes Metall und jede Legierung bei sinkender Temperatur, d.h. beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand und bei der anschließenden Abkühlung bis auf Raumtemperatur einer Volumenabnahme unterliegen. Dabei entstehen sogenannte Schwindungshohlräume, die in Form, Größe und Lokalisation stark variieren und Lunker genannt werden (WAGNER⁴³).

SCHMITT³⁵ gebraucht den Begriff des Schwindmaßes und versteht darunter den Unterschied zwischen dem Volumen einer geschmolzenen Metallmasse unmittelbar oberhalb ihres Erstarrungspunktes und ihrem Volumen im erkalteten Zustand. Danach setzt sich die Schwindung zusammen aus

1. Flüssiger Schwindung, d.i. eine Volumenverminderung im flüssigen Zustand oberhalb der Liquidus-Temperatur
2. Erstarrungsschwindung, d.i. eine Volumenverminderung zwischen der Liquidus- und Solidustemperatur während der Erstarrung
3. Fester Schwindung, d.i. eine Volumenverminderung im festen Zustand, also zwischen Solidus- und Raumtemperatur.

Vor allem die Erstarrungskontraktion ist für die Entstehung von Schwindungshohlräumen (Lunkern) im Gußobjekt während der Erstarrungsphase verantwortlich. Während die Festkörperkontraktion durch Verwendung expandierender Einbettmassen ausgeglichen werden kann, ist es unmöglich, die Erstarrungskontraktion zu vermeiden. Die einzige Möglichkeit, die Lunkerbildung weitestgehend auszuschalten, besteht nach LOEBICH²⁶ und SCHMITT³⁵ darin, die Schwindungshohlräume in für das Gußobjekt unwichtige Teile zu verlegen, wie z.B. den Gußtrichter, den Gußkanal oder in den verlorenen Kopf. Dazu muß ein Reservoir geschaffen werden, aus dem das Gußobjekt während seiner Erstarrung noch flüssige Schmelze nachziehen kann. Der zuletzt erstarrende Anteil der Metallschmelze liegt somit außerhalb des eigentlichen Gußobjekts und hat keinen negativen Einfluß auf seine mechanischen Eigenschaften. Kann also die beim Erstarren der Schmelze auftretende Kontraktion nicht durch Nachlaufen bzw. Nachspeisung ausgeglichen werden, liegt mit Sicherheit ein lunkeriger Guß vor (HARNDT¹⁷).

Die meisten Autoren (KYSELOVA²⁵, LOEBICH²⁶, MARX²⁸, SCHMITT³⁵, GRÜNDLER¹⁶ u.v.a.) teilen die Schwindungshohlräume ihrer Größe nach in Makro- und Mikrolunker ein.

Während erstere bereits mit bloßem Auge zu erkennen sind und Stecknadelkopfgroße erreichen können, werden letztere

erst bei mikroskopischer Betrachtung in Form von Spalten, Klüften und Rissen zwischen den Primärkristallen des Gefüges sichtbar. Makrolunker können die Festigkeit des Gußobjekts so stark beeinträchtigen, daß es bei Belastung zum Bruch kommt. Mikrolunker hingegen vermindern bei Lokalisation an der Oberfläche die Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Einflüssen in der Mundhöhle, führen zu Verfärbungen des Metalls und als Folge davon zu Reizungen der Mundschleimhaut.

Welche der beiden genannten Formen von Lunkern nun entsteht und wo sie lokalisiert sind, ist hauptsächlich abhängig von der Richtung und der Größe des Wärmeflusses, der geometrischen Form des Gußobjekts und dem Erstarrungstyp der Legierung (ENGLER⁷, KYSELOVA²⁵). Nach KYSELOVA²⁵ gilt allgemein:

1. Metalle oder Legierungen mit einem kurzen Erstarrungsintervall bilden eher konzentrierte und größere Hohlräume;
2. Metalle oder Legierungen mit einem größeren Intervall bilden eher eine diffus verteilte Mikroporosität.

Der Charakter der Kontraktionsdefekte ist also in hohem Maße von den Erstarrungsbedingungen abhängig.

Für die Entstehung von Mikrolunkern gibt SCHMITT³⁵ drei verschiedene Möglichkeiten an:

1. Beim Schmelzen mit der Gebläseflamme kommen die Ver-

brennungsrückstände des Leuchtgases und des Sauerstoffs mit der Schmelze direkt in Berührung und führen zu Reaktionen. Es muß also eine vollständige Verbrennung des Leuchtgases gewährleistet sein, so daß weder ein Sauerstoff- noch ein Gasüberschuß entsteht.

2. Metalle und Legierungen lösen im flüssigen Zustand mehr Gase wie Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenoxid, Schwefeldioxid als in festem Zustand. Der Überschuß wird beim Erstarren frei und kann als Gasbläschen eingeschlossen werden. Bei Legierungen mit hohem Edelmetallanteil ist dies besonders bei Sauerstoff zu erwarten.

3. Beim Einschießen der Schmelze kann infolge ungünstiger Form und Lage des Gußkanals und der Schmelzmulde Luft mit in die Hohlform gerissen werden.

2. DAS GUSSGEFÜGE

Alle Metalle und Legierungen sind aus kleinen Bausteinen zusammengesetzt. Ein Querschnitt durch ein Gußobjekt liefert uns ein sogenanntes Gefügebild, auf dem Art, Form und Größe der einzelnen Bausteine sichtbar werden. Das Gußgefüge entsteht durch Kristallisation der Schmelze. In ihr bilden sich kleine Kristall-Keime, die unter Beibehaltung ihrer Form und ihres Atomgitters weiterwachsen. Auf diese Weise bildet sich ein kreuzförmiges Gebilde, ein Bäumchen oder Dendrit (LOEBICH²⁶).

Wenn auch der Gießvorgang, d.h. die Füllung der Hohlform mit flüssiger Schmelze in Sekundenbruchteilen abgeschlossen ist, so ist der Guß an sich noch lange nicht beendet, denn die Erstarrung, die vom Verhältnis Volumen zu Oberfläche des Gußobjekts abhängt, nimmt noch geraume Zeit in Anspruch (DEGUSSA³, WAGNER⁴²).

Nach DEGUSSA³ spielt der Erstarrungsablauf bei der Entstehung von Gußfehlern eine wesentliche Rolle. DEGUSSA³ und VOSS⁴⁰ teilen die Metalle und Legierungen in zwei verschiedene Erstarrungstypen ein:

- A) in den exogenen Typ
- B) in den endogenen Typ.

Bei Typ A beginnt die Erstarrung an der Wand der Hohl-

form und setzt sich in das Innere der Schmelze fort.

Die dabei entstehenden Kristalle können kompakt, grob- oder feindendritisch sein. In Abhängigkeit davon spricht man von exogen glattwandiger, exogen rauhwandiger oder von schwammartiger Erstarrung.

Bei Typ B setzt das Kristallwachstum gleichzeitig an jedem Ort innerhalb der Schmelze ein. Ein Kristallwachstum, das überall gleich schnell vonstatten geht, bezeichnet man als endogen breiartige Erstarrung; wachsen die Kristalle an der Wand schneller als im Zentrum, spricht man von einer endogen schalenbildenden Erstarrung.

Die Tragfähigkeit der Randschale ist nach VOSS⁴⁰ mit dem Erstarrungstyp der Legierung eng verbunden. Er fand heraus, daß bei der schalenbildenden Erstarrung zunächst eine feste Randschale an den Wänden der Hohlform einsetzt, deren Tragfähigkeit bei glattwandiger Erstarrung höher zu bewerten ist als die bei rauhwandiger oder gar endogen schalenbildender Erstarrung. Das Auftreten von Makrolunkern ist also von der Tragfähigkeit der Randschale abhängig, während Keimzahl und Kristallisationsgeschwindigkeit eine Funktion von der Abkühlungsgeschwindigkeit, der Gestalt des Gußobjekts, der Speiserform und der Wärmeleitfähigkeit der Einbettmasse sind. Eine beschleunigte Abkühlung des Gusses führt zu schneller

wachsenden und zahlreicheren Keimen und damit zu einer geringeren Korngröße. Bei langsamer Abkühlung nimmt die Korngröße erheblich zu, da nur wenige Keime ausgebildet werden.

Die günstigste Erstarrungsform für Dentallegierungen ist nach DEGUSSA³ die endogen schalenbildende, da durch die Entstehung einer Randschale Oberflächenporositäten vermieden werden können. Außerdem entsteht durch die gleichzeitige Kristallbildung innerhalb der Schmelze ein feinkörniges Gefüge. Beim exogenen Erstarrungstyp treten mehr Poren und Lunker auf, da die sich schwammartig verzweigenden Dendritenäste eine Nachspeisung des Gußobjekts mit noch flüssiger Schmelze aus dem verlorenen Kopf erheblich behindern. Die Gefügebildung wird sowohl von der Legierungszusammensetzung als auch von den Gießbedingungen, d.h. von der Temperatur von Muffel und Schmelze beeinflusst (WAGNER⁴²). Bei niedrigen Vorwärmtemperaturen wird die Schalenbildung bevorzugt. Schreckt man die noch heiße Kuvette in Wasser ab, anstatt sie an der Luft abkühlen zu lassen, steigt die Abkühlungsgeschwindigkeit von $0.5^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ auf $15^{\circ}\text{C}/\text{sec}$, wobei eine deutlich geringere Endhärte des Gußobjekts erreicht wird, denn diese ist abhängig von der Wanderungsgeschwindigkeit der Atome innerhalb des Kristallgitters.

LOEBICH²⁶ fordert für den Dentalguß ein möglichst feinkörniges Gefüge, da nur ein feines Kristallkorn die notwendige Zähigkeit und Geschmeidigkeit aufweist. Ein grobkörniger Guß kann zwar hart sein, neigt jedoch aufgrund seiner größeren Kristallstruktur zum Brechen, Bröckeln oder Reißen und besitzt vor allen nicht die gewünschte Zähigkeit. Nachteilig wirkt sich auch ein dendritisches oder inhomogenes Gefüge aus. Es vergrößert die Gefahr, daß das Gußobjekt im Mund anläuft und sich verfärbt. Außerdem stellte LOEBICH²⁶ fest, daß gerade bei grobkörnigen Gußgefügen eine starke Lunkerbildung auftritt und lunkerige Güsse regelmäßig besonders inhomogen sind. Für ihn sind die herabgesetzte Zähigkeit und die gesteigerte Verfärbungsbereitschaft die hauptsächlichsten Mängel eines inhomogenen, groben Gußgefüges.

II. GUSSTECHNISCHE PROBLEME

1. DER GUSSKANAL

Dem Gußkanal kommt beim Präzisionsguß wesentliche Bedeutung bezüglich Paßgenauigkeit und Homogenität des Gußobjekts zu.

Um Lunker und Poren aufgrund der Volumenkontraktion zu vermeiden, müssen bei jedem Guß einige Grundvoraussetzungen wie Ansatzstelle, Richtung, Form, Länge und Querschnitt der Gußkanäle erfüllt sein.

Als Ansatzstelle sollte stets der dickste Teil des Gußobjekts dienen, von der aus die flüssige Schmelze zu den dünneren Anteilen fließen kann. Wird dies nicht beachtet, besteht die Gefahr, daß die dünneren Partien wegen ihres größeren Wärmeverlustes bei der Abkühlung zuerst erstarren und in den dickeren Teilen Lunker auftreten. Die Ansatzstelle darf nicht eingeschnürt werden, da sonst dort die Schmelze zuerst erstarrt und eine Nachspeisung mit noch flüssiger Schmelze aus dem relativ dicken Gußkanal verhindert wird. Als Folgen treten Poren und Lunker an der Ansatzstelle und im Gußobjekt auf, da die Erstarrungskontraktion nicht kompensiert werden kann (DEGUSSA³, ELBRECHT¹², GRÜNDLER¹⁶, TAEGE³⁹).

Die Richtung sollte so gewählt werden, daß die flüssige Schmelze ohne schroffe Richtungsänderung und Wirbelbil-

dung in die Hohlform einschießen kann. Wird die Strömungsrichtung zu stark abgelenkt, verlangsamt sich die Strömungsgeschwindigkeit, die Schmelze kühlt zu schnell bis auf ihren Soliduspunkt ab und ist für feine Teile nicht mehr flüssig genug. Es muß auch darauf geachtet werden, daß die Schmelze keine Einbettmasseteilchen absprenge und in die Form mitreißen kann.

Als günstigste Richtung hat sich ein Ansatzwinkel von 135 Grad erwiesen (BONSACK², DEGUSSA³, GRÜNDLER¹⁶, SCHRAFT³⁶, TAEGE³⁹).

Über Form, Länge und Durchmesser des Gußkanals gehen die Literaturangaben auseinander. DEGUSSA³ empfiehlt Kanäle aus zylindrischem Wachsdraht von 3 mm Durchmesser, bei Verwendung eines verlorenen Kopfes sollten sie jedoch 2 mm nicht überschreiten. Die Länge sollte so zugeschnitten werden, daß das Gußobjekt ca. 5 mm vom Muffelboden entfernt außerhalb des Wärmezentrums der Hohlform zu liegen kommt. Bei GRÜNDLER¹⁶ richtet sich die Stärke nach der Dicke des Objekts und liegt zwischen 2,0 und 3,5 mm. HARNDT¹⁷ fordert nur einen möglichst dicken bzw. hinreichend starken und kurzen Gußstift, ELBRECHT¹² sieht bei einem zu groß gewählten Querschnitt die Gefahr, daß die Schmelze bereits vor dem eigentlichen Gießvorgang in die Hohlform fließt, und SCHMITT³⁵ wiederum empfiehlt Gußka-

näle von 2 bis 5 mm Länge und einem Durchmesser von 1,5 bis 2,3 mm. Nach KYSELOVA²⁵ vermindert sich zwar die Porosität als Folge der Schrumpfung, wenn der Gußkanaldurchmesser vergrößert wird, DEGUSSA³ konnte jedoch bei Querschnitten über 3 mm keine Verbesserung der Gußqualität mehr feststellen.

2. DER VERLORENE KOPF

Der verlorene Kopf, auch Saugkopf genannt, ist heute ein weitverbreitetes und anerkanntes Hilfsmittel bei der Herstellung zahnärztlicher Güsse. ELBRECHT¹² hat ihn aus der Gießereiindustrie übernommen und erstmals in den zahntechnischen Bereich eingeführt. Er stellt ein Reservoir für flüssige Schmelze dar und hat den Zweck, den Schwund auszugleichen, der durch die Volumenabnahme beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand auftritt (ELBRECHT¹², GRÜNDLER¹⁶, HARNDT¹⁷, SCHMITT³⁵, TAEGE³⁹, WAGNER^{42,43}). Weiterhin kommt ihm die Aufgabe zu, Lunker in bestimmte unwichtige Abschnitte des Gußobjekts zu lenken, d.h. in den Gußtrichter, in den Gußstift oder in den verlorenen Kopf selbst (BONSACK², GRÜNDLER¹⁶, MARX²⁸, SCHMITT³⁵). Voraussetzung dafür ist allerdings, daß sowohl der verlorene Kopf als auch das Verbindungsstück zum Gußobjekt später erstarren als das Gußobjekt (ELBRECHT¹², HARNDT¹⁷, SCHMITT³⁵, TAEGE³⁹). Nach TAEGE³⁹ spielt hier die spezifische Oberfläche des Saugkopfes eine wichtige Rolle. Da die Erstarrungsgeschwindigkeit der Schmelze proportional der spezifischen Oberfläche ist, d.h. vom Quotienten aus Oberfläche und Gewicht abhängt, verläuft

die Wärmeabgabe der Schmelze umso schneller, je kleiner die Menge des Metalls und je größer die Oberfläche ist. Deshalb muß der Wert der spezifischen Oberfläche des verlorenen Kopfes stets kleiner sein als der des Gußobjekts selbst. Als günstigste Form hat sich die Kugel erwiesen (LOEBICH²⁶, TAEGER³⁹, VOSS⁴⁰).

Am Gußkanal wird in unmittelbarer Nähe zur Ansatzstelle am Gußobjekt aus Wachs ein kugeliges Gebilde angebracht. Nach SCHMITT³⁵ soll es mindestens soviel Volumen aufweisen wie die vom Saugkopf zu versorgende Partie des Hohlraumes an Metall bedarf, nach LOEBICH²⁶ muß der verlorene Kopf 25% des Gußstückvolumens besitzen, und DEGUSSA³ fordert einen Minstdurchmesser von 6 mm. Damit das Verbindungsstück zum Gußobjekt nicht erstarrt und die Nachspeisung mit noch flüssiger Schmelze nicht behindert - ELBRECHT¹² bezeichnet dies als "Einfrieren" des Kanals - sollte es möglichst dick und kurz ausgebildet sein. Die genaueren Angaben hierfür schwanken bei den einzelnen Autoren zwischen 0,5 mm (LOEBICH²⁶) und 2 mm (SCHMITT³⁵). DEGUSSA^{3,4} empfiehlt, den möglichst kurzen Hals zwischen dem verlorenen Kopf und dem Gußobjekt auf etwa 2/3 des Durchmessers des Saugkopfes zu verstärken. Bei zu weitem Abstand vom Gußobjekt oder bei zu dünnem Querschnitt verliert der verlorene Kopf seine Funktion als Schmelzreservoir (DEGUSSA³).

3. DIE EINBETTMASSE

Zur Herstellung jeglicher Art von Metallgüssen benötigt man die Einbettmassen als feuerfeste Hohlform, in die die flüssige Schmelze eingebracht wird. Nach GRÜNDLER¹⁶ sollten sie u.a. folgende Eigenschaften erfüllen:

1. Möglichkeit des Kontraktionsausgleichs durch Expansion
2. Hitzebeständigkeit, Kantenfestigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Deformation
3. Feinkörnigkeit
4. Schlechte Wärmeleitfähigkeit
5. Sie darf keine Bestandteile enthalten, die unter dem Liquiduspunkt der Legierung schmelzen.

Die ADA (American Dental Association) Spezifikation Nr. 2 für Einbettmassen lautet nach SCHRAFT³⁶ wie folgt:

A) Allgemeine Forderungen:

1. Das Material muß hitzebeständig sein und darf nicht bersten
2. Das Material darf keine verschmutzende Wirkung auf die Gußlegierung haben und sollte weder Oberflächenrauigkeiten noch Lunkerformation des Gusses bewirken
3. Beim Erhitzen darf die Einbettmasse keine giftigen oder abstoßenden Gerüche abgeben.

B) Spezielle Forderungen:

1. Die Abbindeexpansion sollte nach 24 Stunden mindestens 0.05% betragen

2. Die Wärmeexpansion sollte bei 700°C rund 0.7% sein
3. Bei keiner Temperatur über 200°C darf eine Kontraktion resultieren
4. Bei weniger als 200°C darf die Kontraktion nie mehr als 0.15% sein
5. Die Kompressionsfestigkeit muß mindestens 125 kg/cm^2 betragen
6. Die Abbindezeit muß mindestens 5 Minuten, jedoch nicht mehr als 30 Minuten betragen
7. Die Feinkörnigkeit muß der Norm entsprechen.

Unter allen bisher aufgeführten Punkten dürfte jedoch die Möglichkeit des Kontraktionsausgleiches die wichtigste Rolle spielen: Die Schrumpfung des Metalls oder der Legierung bei der Abkühlung vom Soliduspunkt auf Zimmertemperatur muß durch die Expansion der Einbettmasse ausgeglichen werden (DEGUSSA³, DREYER-JØRGENSEN^{5,6}, GRÜNDLER¹⁶, WAGNER⁴²). Die Gesamtexpansion teilt sich auf in die Abbindeexpansion während des Erhärtungsprozesses und die thermische Expansion während des Glühens (DEGUSSA³, ILG²², SPRINGER³⁸, WAGNER⁴² u.a.). Für den Ausgleich der Metallkontraktion durch die Expansion der Einbettmasse stellt SPRINGER³⁸ folgende allgemeine Forderung auf:

Die prozentuale, lineare Metallkontraktion beim Abkühlen vom Soliduspunkt auf Raumtemperatur muß kleiner oder gleich sein der prozentualen, linearen Expansion der Einbett-

masse beim Erwärmen von der Raumtemperatur auf die Vorwärmtemperatur. Nach WAGNER⁴² sollte die Abbindeexpansion zusammen mit der thermischen Expansion noch um etwa 0.1% höher sein als die Schwindung des Metalls. Seiner Meinung nach kann die Schwindung des Gußobjekts durch die Gestalt der Gußform behindert werden; zudem können bei ungleichmäßiger Abkühlung Spannungen auftreten, die das Gußobjekt verzerren.

Um der Einbettmasse während des Abbindens und Vorwärmens die Expansion in der Gußmuffel zu ermöglichen, sollte die Kivette mit Asbestpappe ausgekleidet werden. Sie bildet eine unbrennbare, nachgiebige Schicht zwischen Muffelwand und Einbettmasse (DEGUSSA³, DREYER-JØRGENSEN^{5,6}, GRASSL¹⁴, GRÜNDLER¹⁶).

Nach DEGUSSA³ ist eine Schicht Asbestpappe ausreichend. Sie sollte mäßig angefeuchtet werden; eine zu trockene Zwischenschicht saugt Flüssigkeit aus der Einbettmasse, ein zu starkes Anfeuchten stört das Verhältnis Pulver zu Flüssigkeit.

DREYER-JØRGENSEN^{5,6} und GRÜNDLER¹⁶ empfehlen, die ganze Muffel auszukleiden, da bei einem freien Rand von mehr als 3 mm die Expansion ebenso behindert wird wie bei einer nicht ausgekleideten Kivette. Sie stimmen auch darin überein, daß die feuchte Asbestpappe nicht komprimiert werden darf, da sonst die elastische Fähigkeit verlorenggeht. Da-

bei besteht die Gefahr der Pseudo-Kontraktion, d.h. die Expansion würde nach innen schlagen und so die Hohlform verkleinern.

Es ist auch von großer Wichtigkeit, daß die Verarbeitungsvorschriften genau eingehalten werden, da die Beschaffenheit der Oberfläche und der Wert der Abbindeexpansion wesentlich davon beeinflußt sind. Letztere wird umso größer, je mehr Wasser der Einbettmasse während des Abbindevorgangs zugeführt wird oder je länger die Masse angemischt wird (FUSAYAMA¹³; GRASSL¹⁴). WAGNER^{42,43} machte die Erfahrung, daß sich gipsgebundene Einbettmassen für hochschmelzende Legierungen nicht so gut eignen wie phosphat- oder silikatgebundene, denn diese enthalten noch zusätzlich Kohle oder Graphit, die während des Vorwärmens verbrennen, in der Hohlform eine reduzierende Zone erzeugen und so eine Oxidation des Gußobjekts beim Abkühlen verhindern.

4. TEMPERATUR VON MUFFEL UND SCHMELZE

Das Vorwärmen der Gußmuffel auf Temperaturen zwischen 600°C und 800°C hat folgenden Zweck: Zum einen soll das Wachs aus der Hohlform herausgeschmolzen oder -gebrannt werden, zum anderen will man eine thermische Expansion der Einbettmasse erreichen, um die Abkühlungskontraktion der Schmelze zu kompensieren. Die Literaturangaben über Vorwärmtemperatur, Aufheizzeit und Aufheizgeschwindigkeit differieren sehr stark. Während HOLLENBACK²⁰ die Gußform je nach Größe 30 bis 60 Minuten bei nur 480°C vorwärmt, empfiehlt BEECK¹ eine Wachsausbrenndauer von 30 Minuten bei 250°C und ein anschließendes Vorwärmen bei $680 - 700^{\circ}\text{C}$, ebenfalls je nach Größe 30 bis 60 Minuten. Wegen der bestehenden Temperaturdifferenz zwischen Ofen und Muffelzentrum schlagen KERR und JELENKO vor, die Gußform in einen kalten Vorwärmeofen zu legen und nur langsam zu erhitzen (nach NÜNLIST²⁹). Nach KNAPPWOST²³ ist der Verlauf der Expansionskurven nicht nur von der Vorwärmtemperatur abhängig, sondern auch von der Aufheizgeschwindigkeit. Danach ist bei schnellem Aufheizen mit größeren Expansionswerten zu rechnen. SPRINGER³⁸ gibt als ideale Aufheizgeschwindigkeit eine Temperatursteigerung von 5°C pro Minute an.

Das Gefüge eines Gußobjektes, d.h. die Größe der einzelnen Kristalle, ist neben der Legierungszusammensetzung auch von der Abkühlungsgeschwindigkeit der Schmelze abhängig. Diese wiederum steht in direktem Zusammenhang mit der Vorwärmtemperatur der Gußmuffel und der Temperatur der Schmelze im Augenblick des Gießens. Beide Faktoren haben einen erheblichen Einfluß auf das Gußgefüge und somit auf die physikalischen Eigenschaften des Werkstückes. Jegliches Übermaß an Hitze, sowohl beim Vorwärmen als auch beim Schmelzen, führt zu einem grobkörnigen, inhomogenen und dendritischen Gefüge und damit zu Fehlgüssen oder zumindest zu minderwertigen Gußobjekten (LOEBICH²⁶, NÜNLIST²⁹).

Einen weiteren wichtigen Punkt in diesem Zusammenhang stellt die Gußverzugszeit dar, der eine unterschiedliche Bedeutung beigemessen wird. UHLIG versteht darunter die Zeit vom Herausnehmen der Muffel aus dem Vorwärmeofen bis zum Zeitpunkt des Gießens. Dabei spielen die Ausgangstemperatur der Gußhohlform und das Verhältnis ihrer Oberfläche zum Volumen eine große Rolle. Außerdem wird die Gußverzugszeit noch beeinflusst durch die Wärmeableitung über Muffelzange, Lufttemperatur und Auflagefläche auf der Gußapparatur. Es ist daher wichtig, daß die Muffel auf dem Weg vom Vorwärmeofen zum Gußgerät nicht zu stark abkühlt und in jenen kritischen

Bereich gerät, in dem laut Abkühlungsdiagramm der Einbettmasse ein geringer Temperaturabfall bereits eine starke Kontraktion der Hohlform verursacht (SCHRAFT³⁶). Auch SPRINGER³⁸ fordert, die Gußverzugszeit so gering wie möglich zu halten, da die Expansionswerte gipsgebundener Einbettmassen beim Abkühlen schnell abfallen. Phosphatgebundene Massen dagegen erfahren dabei keine nennenswerten Expansionsverluste.

HOLLENBACK²¹ gibt die Gußverzugszeit mit maximal 30 Sekunden an. Den Temperaturabfall beziffern FALCK mit 250 bis 300°C, RICE mit 30°C im Muffelzentrum und 50°C im Randbereich, WAGNER mit 100°C pro Minute und DREYER-JØRGENSEN mit 50°C pro Minute (nach ZÄHRINGER⁴⁴). Seiner Meinung nach könne man die Gußverzugszeit vernachlässigen und es wären keine besonderen Maßnahmen notwendig, die Abkühlung der Muffel auf dem Weg vom Ofen zum Gußapparat zu verhindern (DREYER-JØRGENSEN^{5,6}).

Eigene Untersuchungen der Gußverzugszeit, die an einer Gußmuffel der Größe 3 mit zentral eingebettetem Nickel-Chrom-Nickel Thermoelement vorgenommen wurden, ergaben nach fünf unabhängigen Messungen folgende Abkühlungswerte:

Abkühlung nach Sekunden	Temperatur in Grad C (Mittelwerte)
	850
15	840
30	815
45	800
60	780
75	765
90	750

Ausgangstemperatur: 850°C

Mittlere Abkühlungsgeschwindigkeit: 70°C pro Minute

5. DIE GUSSAPPARATE

Sämtliche Gußverfahren lassen sich nach dem Prinzip ihrer Wirkungsweisen in vier große Gruppen einteilen:

Luftdruckguß, Dampfguß, Vakuumguß und Schleuderguß.

Unter den Autoren herrscht immer noch Uneinigkeit darüber, welcher Methode der Vorzug zu geben sei. Aus der Vielzahl der bestehenden Untersuchungen möchte ich hier nur einige herausgreifen.

Nach TAEGE³⁹ zeigte der Luftdruckguß, bei dem die flüssige Schmelze durch Druckluft in die Form gepreßt wird, die schlechtesten Ergebnisse. Da die Schmelze Gase absorbieren kann, besonders wenn die umgebende Atmosphäre unter erhöhtem Druck steht, treten immer wieder Porositäten auf. SPRENG hält den Dampfguß für die beste Methode, denn das Gemisch von Luft und dem sich entwickelnden Dampf sei von der Schmelze nur sehr wenig absorbierbar. Gute Erfahrungen wurden auch mit dem Vakuumguß gemacht, der allerdings eine genügend poröse und luftdurchlässige Einbettmasse voraussetzt. Die heute gebräuchlichste Methode wäre der Schleuderguß, bei dem jedoch die Gefahr besteht, daß beim Einschießen der Schmelze Luft in die Hohlform mitgerissen wird und zu Lunkerbildung führt. BEECK¹ und RITZE³⁰ sehen die DEGUSSA-Tiegelschleuder als das be-

ste Gerät an; das Preßluftverfahren weise gegenüber der Tiegelschleuder erheblich mehr Poren und Verunreinigungen auf. HOLLENBACK²¹ kam zu folgendem Ergebnis: Alle mit der Luftdruckmethode angefertigten Güsse waren den nach anderen Verfahren hergestellten weit überlegen. Der Schleuderguß schnitt ungünstiger ab, die Kronen waren jedoch mit Vorbehalt noch klinisch brauchbar. Mit der Vakuummethode konnte kein befriedigender Guß erzielt werden. MARX²⁸ kam bei seinen Untersuchungen über den Einfluß der Gußapparatur auf die Poren- und Lunkerbildung zu dem Schluß, daß im Hinblick auf Makroporositäten alle Methoden geeignet sind und im Hinblick auf Mikroporositäten kein wesentlicher Unterschied besteht. Auch HENNING¹⁹ kann von den drei konkurrierenden Gießverfahren wie Schleuder-, Druck- und Saugguß, die seiner Meinung nach alle mehr oder weniger zufriedenstellende Ergebnisse liefern, keinem den Vorzug geben. Nach SCHEFFLER³³ hat der Gußapparat keinen Einfluß auf das Volumenverhalten und die Strukturhomogenität des Gußobjekts, die Korngröße sei nur von der Legierungszusammensetzung und der Gießtemperatur abhängig. FINGER, QUAST und JUNG¹⁰ ermittelten jedoch beim Schleuderguß ein feinkörnigeres Gefüge und häufiger relativ große Lunker am Gußkanal, dem äußeren Kronendeckel und dem Knie als beim Vakuum-Druck-Guß, der weniger und kleinere

Lunker aufwies, die meist statistisch verteilt lagen.

SPANNER³⁷ konnte keinen Einfluß des Verfahrens auf die Oberflächenbeschaffenheit und das Volumenverhalten des Gußobjekts feststellen.

FAESCH⁹ erzielte mit der Dampfgußmethode die porenärmsten, mit dem Luftdruckverfahren die porenreichsten Güsse; der Schleuderguß nahm dabei eine Mittelstellung ein. Aufgrund von Dichtebestimmungen und Röntgenuntersuchungen kam ROCHES³¹ zu einem ähnlichen Ergebnis - nur mit dem einen Unterschied, daß der Schleuderguß bei großen Objekten zu verwerfen sei.

C) EIGENE UNTERSUCHUNGEN

I. METHODE UND MATERIAL

1. DIE VERWENDETEN GUSSAPPARATE

Bei den Versuchen kamen zwei der heute gebräuchlichsten Gußapparaturen zur Anwendung:

- a) das Vakuum-Druck-Gußgerät CL - G der Firma HERAEUS,
- b) die Tiegelschleuder TS 1 der Firma DEGUSSA.

Beschreibung der Geräte:

- a) CL - G von HERAEUS

In diesem Gerät sind die Wirkungsweisen des Druckgusses und des Vakuumbusses kombiniert. Das Gerät besitzt einen vertikal gestellten widerstandsbeheizten Tiegelofen aus einem Keramikrohr (Al_2O_3) mit einer Kanthal-A-Heizwicklung. Trotz der nur geringen Leistungsaufnahme von 320 Watt ist es möglich, auch hochschmelzende Legierungen mit Schmelzpunkten bis zu 1350°C zu schmelzen. Die Aufheizzeit von 20°C bis ca. 1000°C beträgt 10 Minuten.

Die Legierung wird in einem senkrecht stehenden Kohletiegel aus hochreinem Graphit geschmolzen. Der Schmelzvorgang kann mit bloßem Auge verfolgt werden. Das beim Erhitzen entstehende CO und CO_2 lagert sich über die Schmelze und wirkt, da die beiden Gase schwerer sind als Luft, als Schutzgas. So wird eine Oxidation des Metalls verhindert bzw. eine Reduktion bereits oxidierte Metallanteile be-

wirkt. Die vorgewärmte Muffel wird mit dem Gußtrichter direkt über die Öffnung des Kohletiegels gestellt, der Behälter geschlossen und anschließend evakuiert. In wenigen Sekunden wird ein Vakuum von 3 - 10 Torr (99%) erreicht. Die Evakuierung des Gußhohlraumes geschieht direkt über die Gußkanäle und nicht über den Muffelboden wie beim Vakuumguß. Deshalb ist dieses Verfahren unabhängig von der Porosität der Einbettmasse. Die Anbringung von Luftabzugskanälen erübrigt sich somit.

Der Gießvorgang wird durch Schwenken des Tiegelofens um 180 Grad eingeleitet. Die Schmelze läuft gemäß ihrer Schwerkraft in die evakuierte Hohlform. Etwaige mitgerissene Rußpartikel schwimmen wegen ihres geringeren spezifischen Gewichtes an der Oberfläche des Gußkegels, setzen sich dort ab und können daher nicht in das Gußobjekt gelangen. Da die eingelaufene Schmelze aufgrund ihrer hohen Oberflächenspannung nicht in der Lage ist, allerfeinste Räume auszufüllen, wird der Gießbehälter mit Preßluft von 2,5 - 3 atü geflutet; die Schmelze wird dorthin nachgepreßt. Eine Beschädigung der Muffel ist wegen des gleichmäßig auf alle Partien einwirkenden Druckes nicht möglich. Nach ca. 30 Sekunden wird der Gießbehälter entlüftet und in seine Ausgangsstellung gebracht.

b) Tiegelschleuder TS 1

Das Prinzip der Tiegelschleuder ist seit langer Zeit bekannt. Die Schleuder, an deren Antriebsachse der horizontale gelenkige Schleuderarm mit Schmelzvorrichtung und Muffelhalter befestigt ist, wird durch eine im Gehäuse untergebrachte Feder in schnelle Rotation versetzt. Durch Drehen des Schleuderarmes im Uhrzeigersinn wird die Schleuder aufgezogen und arretiert. Der Gelenkarm wird ebenfalls in der gleichen Richtung bis zum Anschlag gebracht. Ein vor der Öffnung der Schmelzvorrichtung montierter Metallspiegel ermöglicht die visuelle Kontrolle des Schmelzvorganges.

Hat die Schmelze die richtige Temperatur erreicht, wird die Gußmuffel aufgesetzt und die Schleuder durch Lösen des außerhalb des Drehbereiches liegenden Arretierhebels in Gang gebracht.

Die Tiegelschleuder kann mit einer Niederspannungsschmelzanlage oder mit einer Schmelzmulde für das Schmelzen mit offener Flamme ausgerüstet werden. Neben einer Normal-Schmelzanlage mit 600 Watt Leistung für Temperaturen bis 1200°C steht noch eine Hochleistungs-Schmelzanlage mit 700 Watt Leistung für alle Edelmetall-Legierungen einschließlich der hochschmelzenden Aufbrennlegierungen für Temperaturen bis 1400°C zur Verfügung. Die Aufheizzeit von 20°C bis 1200°C beträgt 6 Minuten, bis 1400°C 10 Minuten. Auch hier finden porenfreie Graphittiegel aus reinem Elektrographit Verwendung.

2. DIE VERGOSSENEN LEGIERUNGEN

Zur Herstellung der Prüfkörper wurden drei verschiedene Aufbrennlegierungen der Firma DEGUSSA verwendet:

a) DEGUDENT

mit einem Schmelzintervall von 1210°C
bis 1080°C und einem Gehalt an Gold
und Metallen der Platingruppe von 96,8%

b) DEGUDENT UNIVERSAL

mit einem Schmelzintervall von 1260°C
bis 1150°C und einem Edelmetallanteil
von 96,1%

c) Legierung 4437, eine Testlegierung der
Firma DEGUSSA, deren Zusammensetzung mir
nicht bekannt war.

II. VERSUCHSANORDNUNG

1. HERSTELLUNG DER KRONENMODELLE

Auf einem gedrehten und polierten Stahlstumpf aus V₂A-Stahl, der ungefähr die Größe eines Prämolaren hatte, wurden 250 Tiefziehkäppchen nach dem System der Firma DREVE hergestellt. Aus dieser Menge führte ich 80 Käppchen mit annähernd gleicher und auch gleichmäßiger Wandstärke von ca. 0,5 mm einer weiteren Bearbeitung zu. Die cervicalen Kronenränder wurden ausnahmslos aus Wachs nachmodelliert; die scharfkantig ausgebildete Stufe am Stahlstumpf ermöglichte ein sauberes und glattes Ausarbeiten der Ränder. Die Käppchen wurden nun mit Wachsdrähten von 2,5 mm Durchmesser und 20 mm Länge als Gußkanal versehen, lediglich für die Legierung 4437 empfahl der Hersteller einen Gußkanaldurchmesser von 3 mm und eine Länge von 15 mm. Den von BÖNSACK² und GRÜNDLER¹⁶ beschriebenen Ansatzwinkel des Gußkanals von 135° hielt ich bei allen Gußobjekten ein. Zur Entspannung der Oberfläche und damit zur Vermeidung von Luftbläschen an der Grenzfläche zwischen Einbettmasse und Gußobjekt verwendete ich als Netzmittel WAXIT.

2. EINBETTEN UND GIESSEN DER KRONEN

Als Einbettmasse diente die speziell für hochschmelzende Aufbrenn-Legierungen entwickelte gipsfreie Einbettmasse DEGUVEST - HFG - Einbettmasse der Firma DEGUSSA. Die Expansion von DEGUVEST - HFG ist durch Verdünnen der Spezialanrührflüssigkeit mit destilliertem Wasser steuerbar; je höher die Konzentration, desto höher auch die Expansion. Für Güsse von Aufbrennlegierungen wie in diesem Fall wurde eine 75%ige DEGUVEST-HFG-Flüssigkeit vom Hersteller empfohlen. Die Gußmuffeln kleidete ich mit einer Lage angefeuchteter Asbestpappe aus; das Anrühren der Einbettmasse und das Einbetten selbst wurden unter Verwendung des Vakuum-Einbettgerätes MULTIVAC 3 der Firma DEGUSSA vorgenommen.

Nach einer Aushärtungszeit von mindestens einer Stunde wurde jede Muffel einzeln in einen kalten Vorwärmeofen gelegt und langsam von Zimmertemperatur bis auf die gewünschte Temperatur gebracht, bei der sie noch eine halbe Stunde im Ofen verblieb.

Mit den beiden vorher beschriebenen Gußapparaten stellte ich jeweils 16 Kronen aus DEGUDENT, 16 Kronen aus DEGUDENT UNIVERSAL und 8 Kronen aus der Legierung 4437 her. Sämtliche Güsse enthielten nur frisches, unvergossenes

Metall. Die Muffeln kühlten langsam an der Luft bis auf Zimmertemperatur ab, die Kronen wurden ausgebetet, unter fließendem Wasser gesäubert und im Sandstrahlgerät von noch anhaftenden Einbettmasseteilchen befreit.

III. A U S W E R T U N G

Die Aufgabenstellung, nämlich die Untersuchung der Kronen auf Gußfehler und Gefügebilder, machte eine Trennung der Auswertung in zwei Teile notwendig.

Zunächst einmal untersuchte ich die Gußobjekte - getrennt nach Legierung und Herstellungsverfahren - auf Lunker bzw. Mikroporositäten. Dazu wurde jede einzelne Krone nach Abtrennung des Gußkanales in occlusal-cervicaler Richtung durchgesägt und zwar in der Weise, daß eine größere und eine kleinere Teilkrone entstanden, um dem Abrieb bei der Herstellung eines Schliffes Rechnung zu tragen. Die jeweils größeren Stücke wurden mit der Schnittfläche nach unten in eine glasklare Kunststoffmasse (TECHNOVIT von der Firma KULZER) eingebracht, anschließend mit Schmirgelpapier auf Rotationsscheiben plan geschliffen und schließlich in einem Polierautomaten auf wolltuchbespannten Scheiben mit Diamantschleifpasten abnehmender Körnung hochglanzpoliert. Die spiegelblanken Schnittflächen überprüfte ich ständig unter dem Auflichtmikroskop auf Kratzerfreiheit.

Zur quantitativen Auswertung der in einem Gußobjekt auftretenden Porositäten wären nach MARX²⁸ der Teilchengrößenanalysator von ENDTER oder das Integrationsokular von ZEISS

als wissenschaftlich exaktes Verfahren geeignet. Da mir jedoch keines der beiden Geräte zur Verfügung stand, mußte ich auf eine andere Methode der Beurteilung ausweichen.

Dabei wurden die einzelnen Gußobjekte in drei große Bereiche eingeteilt:

- a) Kronendeckel mit dem einstrahlenden Teil des Gußkanalansatzes;
- b) Volumen der Krone an den beiden Wänden;
- c) Oberfläche der gesamten Krone innen und außen.

Bei der Betrachtung der Schliffe unter 200facher Vergrößerung unter einem Auflichtmikroskop, das mit einem Binokular und einer Mattscheibe ausgerüstet war, beurteilte ich jedes einzelne Gußobjekt in allen drei Bereichen nach folgenden Bewertungsmaßstab:

für Volumen:

- 0 = nicht porös
- 1 = wenig porös
- 2 = mäßig porös
- 3 = stark porös
- 4 = sehr stark porös
- 5 = lunkerig

für Oberfläche:

- 0 = eben, glatt
- 1 = buckelig
- 2 = rauh
- 3 = rissig porös
- 4 = aufgelockert porös
- 5 = lunkerig



Oberfläche

0 = eben, glatt



Oberfläche

1 = buckelig



Oberfläche

2 = rauh





Oberfläche
5 = lunkerig



Oberfläche
4 = aufgelockert porös



Oberfläche
3 = rissig, porös

Volumen

0 = nicht porös

Volumen

1 = wenig porös

Volumen

2 = mäßig porös



Volumen
3 = stark porös



Volumen
5 = lunkerig

Um die Subjektivität bei der Betrachtung weitestgehend auszuschalten, wurden diese Beurteilungen in ungeordneter Reihenfolge fünf Mal an verschiedenen Tagen zu verschiedenen Zeiten vorgenommen. Untersuchungen zu dieser Bewertungsmethode ergaben nämlich, daß eine nur dreimalige Beurteilung eine zu große Streuung der Ergebnisse aufgrund der Subjektivität der Betrachtungsweise in sich birgt, daß hingegen eine siebenmalige und sogar eine zehnmalige unabhängige Beurteilung der Gußobjekte gegenüber einer fünfmaligen Betrachtung keine Verbesserung des Bewertungsergebnisses mehr bringt. Damit wurde jeder Bereich der Krone einem bestimmten Punktwert zugeordnet, der ein Maß sowohl für Mikrolunker als auch für Makrolunker darstellte.

Der zweite Teil der Auswertung erstreckte sich auf die Herstellung und Beurteilung der Gefügebilder. Dazu wurden alle Schliffe erneut mit den oben genannten Geräten bearbeitet und so lange hochglanzpoliert, bis bei der Betrachtung unter dem Mikroskop kein Kratzer mehr festzustellen war. Eine peinlich genaue Politur ist deswegen von so großer Bedeutung, da die nach Ätzung der Schliffe mit KCN sichtbar werdenden Korngrenzen bei einer Überlagerung mit feinen Kratzern nicht mehr oder nur sehr schwer voneinander zu unterscheiden sind und somit die Auswertung

bzw. die Auszählung der einzelnen Metallkörner nicht genau möglich ist.

Aus dem vielfältigen Angebot an Verfahren zur quantitativen Gefügebeschreibung wählte ich die Linearanalyse für die Bestimmung des mittleren Korndurchmessers. Eine Auswertung der Gefügebilder nach der ASTM-Norm (American Society of Testing Materials), bei der das Schlifffbild mit der ASTM-Richtreihe, die zehn verschiedene Korngrößen umfaßt, verglichen wird, erschien mir wegen der allein mit bloßem Auge kaum objektivierbaren Korngrößenunterschiede nicht geeignet. Nach Ansicht von EXNER und FISCHMEISTER⁸ ist das linearanalytische Meßprinzip der Flächen-, Durchmesser- und Punktanalyse aufgrund seines optimalen Leistungsvermögens für die Kennzeichnung des geometrischen Aufbaues von Werkstoffen vorzuziehen, da sehr viele Meßdaten auf einmal erfaßt und in einfache Kenngrößen umgewandelt werden können, wodurch eine fast vollständige Beschreibung des Gefügebraufbaues gewährleistet ist. Die Messung ist gegenüber idealisierten Vergleichselementen wie z.B. dem Korngrößenanalysator von ZEISS, der Richtgrößenreihe nach der ASTM-Norm oder dem Korngrößen-Vergleichsokular nach MITSCHKE und GRABNER objektiv. Mit der Linearanalyse können wir die lineare Mittelkorngröße bestimmen, die nach HEYN (nach FISCHMEISTER¹¹) definiert wird durch die Anzahl n_L der von einer Meßgeraden der Länge L geschnittenen Korngrenzen $\bar{L} = \frac{L}{n_L}$.

Die Linearanalyse beschränkt sich auf Grundoperationen wie Zählen, Messen und Klassifizieren. Bei diesem Verfahren wird auf dem mikroskopischen Bild eine willkürlich gelegte Gerade bestimmter Länge abgesucht und jeder Schnittpunkt einer Korngrenze mit dieser Geraden gezählt. Um lokale Abweichungen auf den zu einem Format von 18 x 24 cm vergrößerten mikroskopischen Aufnahmen (1 : 100) herausmitteln zu können, fertigte ich eine Rasterplatte mit 20 feinsten parallelen Linien in konstanten Abständen von 5 mm und einer Länge von 200 mm an und zählte die Schnittpunkte all dieser Rasterlinien mit den Korngrenzen aus. Da nur der Vergleich der Gefügebilder bei den beiden Gußverfahren (Schleuderguß und Vakuum-Druck-Guß) von Interesse war, wurde auf die Berechnung der absoluten Werte für die lineare Mittelkorngroße verzichtet.

IV. STATISTIK

Werden in der Statistik zwei Parameter miteinander verglichen, so stellt man im allgemeinen eine Hypothese auf, d.h. eine Annahme über die Verteilung einer Zufallsvariablen. Der Test dieser Hypothese ergibt dann, ob man sie annehmen kann oder verwerfen soll (KRETSZIG²⁴). Für den Vergleich der beiden Verfahren Schleuderguß und Vakuum-Druck-Guß lautete meine Hypothese wie folgt: Beide Geräte liefern bezüglich Gußfehler und Gefügebau gleich gute Ergebnisse.

Die Prüfung dieser Hypothese teilte ich ebenso wie die Auswertung in zwei Abschnitte. Zum Vergleich der Gußqualität erschien mir der Test nach WILCOXON am geeignetsten. Den Gefügebau prüfte ich über den Korrelationskoeffizienten.

Sämtliche Meßdaten aus der Bewertung der Gußfehler wurden in Rangzahlen umgewandelt und anschließend einem Rechner mit einem festen, schon bestehenden Programm für den WILCOXON-Test eingegeben. Für jeden einzelnen Vergleich aller Parameter untereinander erhielt ich den jeweils am Tabellenende ausgedruckten Wert $T = R_1 - E_1 = -(R_2 - E_2)$. Mit Hilfe dieses Wertes war ich nun in der Lage, die eingangs aufgestellte Hypothese

auf ihre Brauchbarkeit hin zu überprüfen.

In der folgenden Tabelle sind die von der Stichproben-
größe abhängigen Signifikanzgrenzen c angegeben. Sie
errechneten sich aus der Formel

$$c = K \frac{n^2 (2n + 1)}{12}$$

($K = 1.96$ für eine Schranke von 95%

$K = 2.98$ für eine Schranke von 99%)

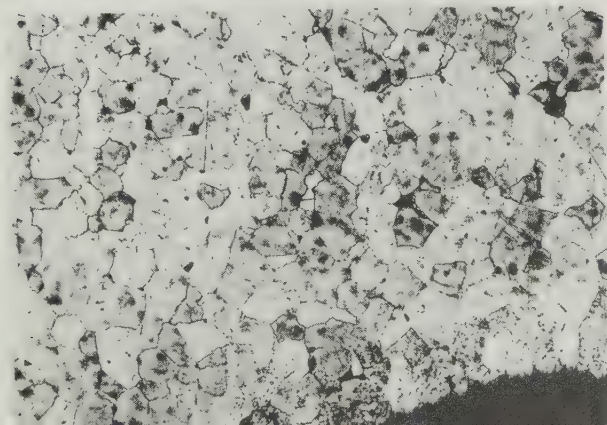
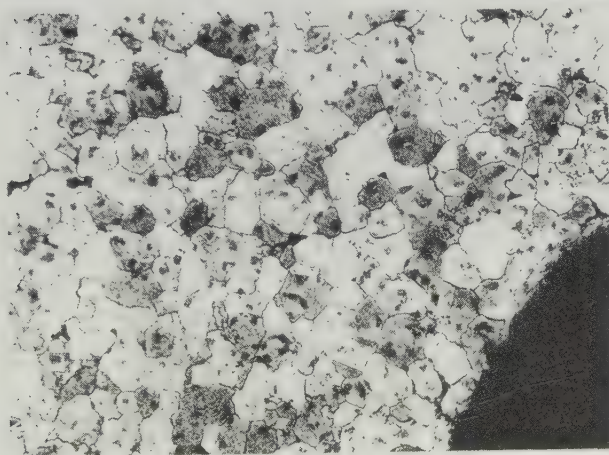
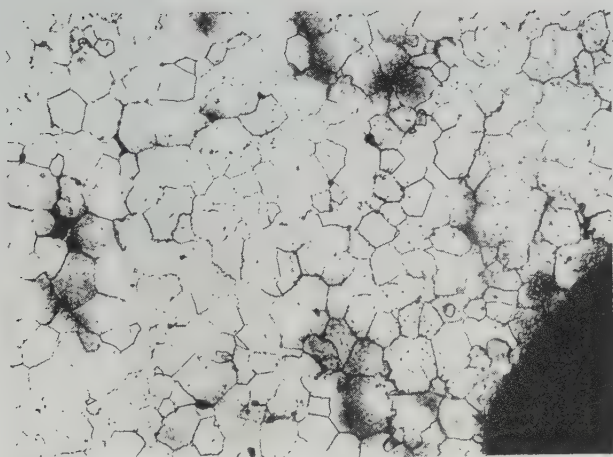
Nach der Formel $R_1 - E_1 \leq -c$

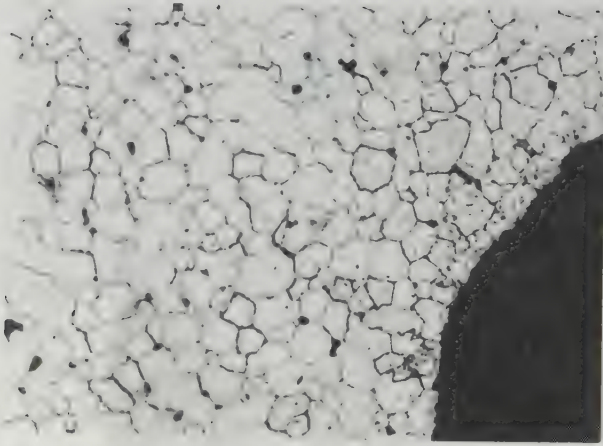
konnte ich nun im Einzelfall entscheiden, ob die Hypo-
these mit 95%iger oder mit 99%iger Wahrscheinlichkeit
als richtig anzunehmen ist oder ob sie gänzlich ver-
worfen werden muß.

Stichprobenzahl n	Signifikanzschranken c	
	bei 95%	bei 99%
$n = 8$	$c = 19.0$	$c = 25.0$
$n = 16$	$c = 55.0$	$c = 68.5$
$n = 24$	$c = 95.0$	$c = 125.1$
$n = 40$	$c = 203.0$	$c = 268.0$
$n = 48$	$c = 267.5$	$c = 352.0$

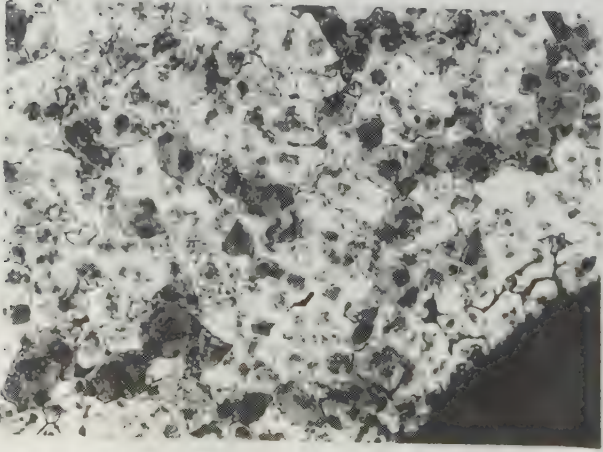
Die Gefügebilder bzw. die mittels der Linearanalyse
gefundenen Verhältniszahlen für den mittleren Korn-
durchmesser wurden auf eine eventuell bestehende Kor-

relation untersucht. Nach SACHS³² ist der Korrelationskoeffizient r ein Maß für den linearen Zusammenhang zweier oder mehrerer gleichwertiger, mehr oder minder lose verketteter Zufallsvariablen und ist ebenso wie die Signifikanzschranken von der Stichprobenzahl n abhängig. Der Korrelationskoeffizient kann nur Werte zwischen -1 und $+1$ annehmen. Bei positivem r spricht man von gleichsinniger, bei negativem r von ungleichsinniger Korrelation. Für $r = +1$ und $r = -1$ besteht zwischen den zwei Merkmalen ein funktionaler Zusammenhang, für $r = 0$ sind die Zufallsvariablen unkorreliert.

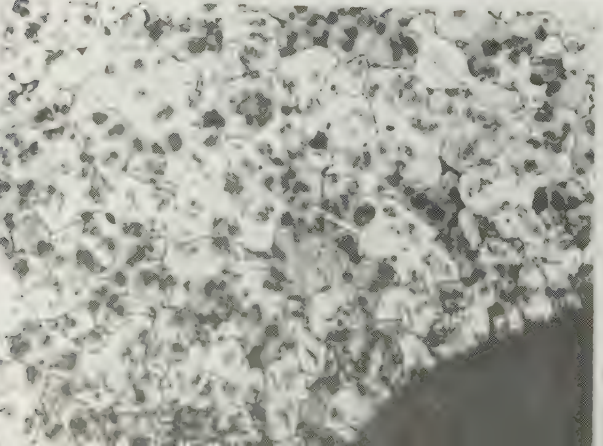




Run-Druck-Guß
Korrosion



Run-Druck-Guß
Korrosion



Run-Druck-Guß
Korrosion

T A B E L L E N

VERGLEICH VON SCHLEUDERGUSS MIT VAKUUM-DRUCK-GUSS

Legierung 1 = DEGUDENT UNIVERSAL

Legierung 2 = DEGUDENT NORMAL

Legierung 3 = LEGIERUNG 4437

Parameter 1 = Gußkanalansatz/Kronendeckel

Parameter 2 = Volumen

Parameter 3 = Oberfläche

Tabelle der Korngrößen
DEGUDENT UNIVERSAL

1	41.60	45.90
2	39.30	44.30
3	41.90	40.80
4	42.10	44.30
5	44.10	44.40
6	40.30	44.60
7	42.30	42.90
8	33.50	45.70
9	41.60	45.70
10	39.10	46.40
11	37.30	45.80
12	38.30	43.40
13	39.50	41.80
14	39.90	39.90
15	39.70	39.90
16	39.20	43.90

Korrelationskoeffi-
zient = - 0.0876

Tabelle der Korngrößen
DEGUDENT NORMAL

1	41.30	44.90
2	41.40	43.00
3	38.30	43.10
4	36.10	40.00
5	36.10	39.80
6	39.50	37.80
7	34.90	38.40
8	35.40	39.40
9	36.10	40.20
10	38.70	41.70
11	38.50	39.70
12	39.20	39.30
13	36.80	39.10
14	42.50	39.70
15	41.50	38.10
16	37.60	38.80

Korrelationskoeffi-
zient = 0.3243

Tabelle der Korngrößen
LEGIERUNG 4437

1	58.10	54.80
2	48.50	52.60
3	55.20	56.90
4	48.90	55.30
5	57.70	56.10
6	54.20	52.70
7	53.90	56.10
8	54.30	54.50

Korrelationskoeffi-
zient = 0.4177

Legierung Nr.1
Parameter Nr.1

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.20	11.5	2.00	6.5
2.00	6.5	2.20	11.5
1.60	2.0	3.00	18.5
3.00	18.5	3.00	18.5
2.00	6.5	3.80	30.5
2.00	6.5	4.00	32.0
2.20	11.5	3.80	30.5
2.20	23.5	3.40	26.5
1.40	1.0	3.20	23.5
2.80	15.0	3.20	23.5
3.00	18.5	3.60	28.5
3.40	26.5	3.00	18.5
3.60	28.5	3.20	23.5
2.00	6.5	3.00	18.5
2.40	14.0	1.80	3.0
2.00	6.5	2.20	11.5
Rangsummen	R1 = 203.0	R2 =	325.0
Mittelwert			
2.424		3.024	
Standardabweichung			
0.656		0.646	

Testgröße: nach WILCOXON : - 61.000

Legierung Nr. 2
Parameter Nr. 1

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.60	23.0	1.80	3.0
1.60	2.0	2.80	27.0
2.20	11.0	2.00	6.5
2.40	17.0	2.00	6.5
2.40	17.0	2.60	23.0
2.08	27.0	2.20	11.0
1.90	4.0	2.20	11.0
2.20	11.0	2.40	17.0
2.00	6.5	3.00	29.5
2.40	17.0	2.80	27.0
1.20	1.0	2.60	23.0
2.20	11.0	2.00	6.5
2.40	17.0	2.60	23.0
3.20	31.0	2.40	17.0
3.40	32.0	2.40	17.0
3.00	29.5	2.60	23.0
<u>Rangsummen</u>	R1 = 257.0		R2 = 271.0
<u>Mittelwert</u>			
2.368		2.399	
<u>Standardabweichung</u>			
0.565		0.342	
Testgröße: nach WILCOXON : - 7.000			

Legierung Nr. 3
Parameter Nr. 1

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
1.60	1.0	2.20	6.0
2.60	10.0	2.80	11.5
3.00	13.5	2.80	11.5
2.20	6.0	1.80	2.5
2.20	6.0	1.80	2.5
2.40	8.5	2.00	4.0
4.00	16.0	3.00	13.5
3.20	15.0	2.40	8.5
Rangsummen	R1 = 76.0	R2 =	60.0
Mittelwert			
2.649		2.349	
Standardabweichung			
0.738		0.475	

Testgröße: nach WILCOXON : 8.000

Legierung Nr. 1

Parameter Nr. 2

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.20	6.0	2.00	2.5
2.20	6.0	2.60	14.5
2.40	11.0	3.00	21.0
2.20	6.0	2.60	14.5
2.20	6.0	3.00	21.0
2.40	11.0	3.40	28.5
3.00	21.0	3.80	32.0
3.20	26.0	3.60	30.5
3.00	21.0	3.60	30.5
2.80	16.5	3.20	26.0
3.00	21.0	3.00	21.0
3.40	28.5	2.80	16.5
3.00	21.0	3.20	26.0
2.20	6.0	2.40	11.0
2.40	11.0	1.40	1.0
2.40	11.0	2.00	2.5
Rangsummen	R1 = 229.0	R2 =	229.0
Mittelwert			
2.624		2.849	
Standardabweichung			
0.418		0.659	

Testgröße: nach WILCOXON : - 35.000

Legierung Nr. 2

Parameter Nr. 2

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
5.00	32.0	1.60	4.5
1.60	4.5	2.60	22.5
2.80	27.0	2.00	10.0
2.40	18.5	2.00	10.0
2.40	18.5	2.00	10.0
2.40	18.5	2.80	27.0
3.00	30.5	1.60	4.5
1.60	4.5	2.20	14.5
2.20	14.5	2.40	18.5
2.00	10.0	2.60	22.5
1.40	1.0	2.80	27.0
1.60	4.5	2.00	10.0
1.60	4.5	2.80	27.0
3.00	30.5	2.80	27.0
2.60	22.5	2.20	14.5
2.60	22.5	2.20	14.5
Rangsummen	R1 = 264.0	R2 = 264.0	
Mittelwert			
2.387		2.287	
Standardabweichung			
0.874		0.412	

Testgröße: nach WILCOXON: 0.000

Legierung Nr. 3
Parameter Nr. 2

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
1.00	1.0	2.40	9.5
2.00	5.5	2.60	12.0
2.20	7.0	2.00	5.5
3.40	14.5	1.60	2.0
2.40	9.5	1.80	3.5
2.40	9.5	1.80	3.5
3.60	16.0	2.80	13.0
2.40	14.5	2.40	9.5
Rangsummen	R1 = 77.5	R2 =	58.5
Mittelwert			
2.549		2.174	
Standardabweichung			
0.879		0.433	

Testgröße: nach WILCOXON : 9.500

Legierung Nr. 1

Parameter Nr. 3

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.00	4.0	2.00	4.0
3.60	29.0	2.20	9.0
2.60	13.5	3.00	20.0
2.20	9.0	3.00	20.0
2.20	9.0	4.00	32.0
3.40	25.0	3.40	25.0
2.40	11.0	2.00	4.0
2.00	4.0	3.00	20.0
2.60	13.5	3.60	29.0
3.40	25.5	3.20	22.5
3.40	25.5	3.80	31.0
3.20	22.5	3.60	29.0
2.80	17.0	2.80	17.0
2.00	4.0	2.60	13.5
2.80	17.0	2.00	4.0
2.60	13.5	2.00	4.0
Rangsummen	R1 = 243.5	R2 =	284.5
Mittelwert			
2.699		2.887	
Standardabweichung			
0.556		0.692	

Testgröße: nach WILCOXON : - 20.500

Legierung Nr. 2

Parameter Nr. 3

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
4.00	32.0	1.60	2.0
2.20	13.5	1.60	2.0
2.40	17.0	1.60	2.0
3.00	25.5	3.60	31.0
3.20	28.0	2.00	9.0
2.80	22.0	2.80	22.0
2.80	22.0	2.20	13.5
2.00	9.0	3.20	28.0
2.60	19.0	3.00	25.0
2.40	17.0	1.80	5.0
1.80	5.0	2.00	9.0
1.80	5.0	3.20	28.0
2.40	17.0	3.40	30.0
2.80	22.0	2.80	22.0
2.20	13.5	2.00	9.0
2.20	13.5	2.00	9.0
Rangsummen	R1 = 281.0	R2 =	247.0
Mittelwert			
2.537		2.424	
Standardabweichung			
0.564		0.700	

Testgröße: nach WILCOXON : 17.000

Legierung Nr. 3

Parameter Nr. 3

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.40	8.5	2.00	3.5
3.00	12.5	1.80	1.0
2.80	10.5	2.40	8.5
3.40	16.0	2.80	10.5
2.20	6.5	2.00	3.5
3.20	14.5	2.00	3.5
3.00	12.5	2.20	6.5
3.20	14.5	2.00	3.5
Rangsummen	R1 = 95.5	R2 = 40.5	
Mittelwert			
2.899		2.150	
Standardabweichung			
0.414		0.316	

Testgröße: nach WILCOXON : 27.500

Vergleich von Schleuderguß mit Vakuum-Druck-Guß
über alle Parameter

Legierung Nr. 1

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.20	25.5	2.00	12.0
2.00	12.0	2.20	25.5
1.60	3.0	3.00	58.5
3.00	58.5	3.00	58.5
2.00	12.0	3.80	92.5
2.00	12.0	4.00	95.5
2.20	25.5	3.80	92.5
3.20	71.0	3.40	79.5
1.40	1.5	3.20	71.0
2.80	47.5	3.20	71.0
3.00	58.5	3.60	87.0
3.40	79.5	3.00	58.5
3.60	87.0	3.20	71.0
2.00	12.0	3.00	58.5
2.40	35.0	1.80	4.0
2.00	12.0	2.20	25.5
2.20	25.5	2.00	12.0
2.20	25.5	2.60	41.5
2.40	35.0	3.00	58.5
2.20	25.5	2.60	41.5
2.20	25.5	3.00	58.5
2.40	35.0	3.40	79.5
3.00	58.5	3.80	92.5
3.20	71.0	3.60	87.0
3.00	58.5	3.60	87.0
2.80	47.5	3.20	71.0
3.00	58.5	3.00	58.5
3.40	79.5	2.80	47.5
3.00	58.5	3.20	71.0
2.20	25.5	2.40	35.0
2.40	35.0	1.40	1.5
2.40	35.0	2.00	12.0
2.00	12.0	2.00	12.0
3.60	87.0	2.20	25.5
2.60	41.5	3.00	58.5
2.20	25.5	3.00	58.5
2.20	25.5	4.00	95.5

3.40	79.5	3.40	79.5
2.40	35.0	2.00	12.0
2.00	12.0	3.00	58.5
2.60	41.5	3.60	87.0
3.40	79.5	3.20	71.0
3.40	79.5	3.80	92.5
3.20	71.0	3.60	87.0
2.80	47.5	2.80	47.5
2.00	12.0	2.60	41.5
2.80	47.5	2.00	12.0
2.60	41.5	2.00	12.0

Rangsummen R1 = 1990.0

R2 = 2666.0

Mittelwert

2.583

2.920

Standardabweichung

0.553

0.662

Testgröße: nach WILCOXON : - 338.000

Legierung Nr. 2

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.60	63.5	1.80	14.5
1.60	7.5	2.80	75.0
2.20	38.0	2.00	24.5
2.40	51.5	2.00	24.5
2.40	51.5	2.60	63.5
2.80	75.0	2.20	38.0
1.90	17.0	2.20	38.0
2.20	38.0	2.40	51.5
2.00	24.5	3.00	84.5
2.40	51.5	2.80	75.0
1.20	1.0	2.60	63.5
2.20	38.0	2.00	24.5
2.40	51.5	2.60	63.5
3.20	89.5	2.40	51.5

3.40	92.5	2.40	51.5
3.00	84.5	2.60	63.5
5.00	96.0	1.60	7.5
1.60	7.0	2.60	63.5
2.80	75.0	2.00	24.5
2.40	51.5	2.00	24.5
2.40	51.5	2.00	24.5
2.40	51.5	2.80	75.0
3.00	84.5	1.60	7.5
1.60	7.5	2.20	38.0
2.20	38.0	2.40	51.5
2.00	24.5	2.60	63.5
1.40	2.0	2.80	75.0
1.60	7.5	2.00	24.5
1.60	7.5	2.80	75.0
3.00	84.5	2.80	75.0
2.60	63.5	2.20	38.0
2.60	63.5	2.20	38.0
4.00	95.0	1.60	7.5
2.20	38.0	1.60	7.5
2.40	51.5	1.60	7.5
3.00	84.5	3.60	94.0
3.20	89.5	2.00	24.5
2.80	75.0	2.80	75.0
2.80	75.0	2.20	38.0
2.00	24.5	3.20	89.5
2.60	63.5	3.00	84.5
2.40	51.5	1.80	14.5
1.80	14.5	2.00	24.5
1.80	14.5	3.20	89.5
2.40	51.5	3.40	92.5
2.80	75.0	2.80	75.0
2.20	38.0	2.00	24.5
2.20	38.0	2.00	24.5

Rangsummen R1 = 2370.5 R2 = 2285.5

Mittelwert

2.431 2.370

Standardabweichung

0.673 0.501

Testgröße: nach WILCOXON : 42.500

Legierung Nr. 3

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
1.60	2.5	2.20	18.5
2.60	30.5	2.80	34.0
3.00	38.5	2.80	34.0
2.20	18.5	1.80	6.0
2.20	18.5	1.80	6.0
2.40	25.5	2.00	12.0
4.00	48.0	3.00	38.5
3.20	42.0	2.40	25.5
1.00	1.0	2.40	25.5
2.00	12.0	2.60	30.5
2.20	18.5	2.00	12.0
3.40	45.0	1.60	2.5
2.40	25.5	1.80	6.0
2.40	25.5	1.80	6.0
3.60	47.0	2.80	34.0
3.40	45.0	2.40	25.5
2.40	25.5	2.00	12.0
3.00	38.5	1.80	6.0
2.80	34.0	2.40	25.0
3.40	45.0	2.80	34.0
2.20	18.5	2.00	12.0
3.20	42.0	2.00	12.0
3.00	38.5	2.20	18.5
3.20	42.0	2.00	12.0

Rangsummen R1 = 727.5

R2 = 448.5

Mittelwert

2.699

2.224

Standardabweichung

0.690

0.405

Testgröße: nach WILCOXON : 139.500

Parameter 1

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.20	27.5	2.00	16.0
2.00	16.0	2.20	27.5
1.60	4.0	3.00	60.5
3.00	60.5	3.00	60.5
2.00	16.0	3.80	77.5
2.00	16.0	4.00	79.5
2.20	27.5	3.80	77.5
3.20	68.5	3.40	73.0
1.40	2.0	3.20	68.5
2.80	52.5	3.20	68.5
3.00	60.5	3.60	75.5
3.40	73.0	3.00	60.5
3.60	75.5	3.20	68.5
2.00	16.0	3.00	60.5
2.40	38.5	1.80	7.5
2.00	16.0	2.20	27.5
2.60	46.5	1.80	7.5
1.60	4.0	2.80	52.5
2.20	27.5	2.00	16.0
2.40	38.5	2.60	46.5
2.80	52.5	2.20	27.5
1.90	10.0	2.20	27.5
2.20	27.5	2.40	38.5
2.00	16.0	3.00	60.5
2.40	38.5	2.80	52.5
1.20	1.0	2.60	46.5
2.20	27.5	2.00	16.0
2.40	38.5	2.60	46.5
3.20	68.5	2.40	38.5
3.40	73.0	2.40	38.5
3.00	60.5	2.60	46.5
1.60	4.0	2.20	27.5
2.60	46.5	2.80	52.5
3.00	60.5	2.80	52.5
2.20	27.5	1.80	7.5
2.20	27.5	1.80	7.5
2.40	38.5	2.00	16.0
4.00	79.5	3.00	60.5
3.20	68.5	2.40	38.5
Rangsummen	R1 = 1491.0	R2	= 1749.0
Mittelwert			
2.447		2.693	
Standardabweichung		0.597	
0.630			

Testgröße: nach WILCOXON: - 129.000

Parameter 2

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.20	26.5	2.00	17.0
2.20	26.5	2.60	48.0
2.40	38.0	3.00	64.0
2.20	26.5	2.60	48.0
2.20	26.5	3.00	64.0
2.40	38.0	3.40	73.5
3.00	64.0	3.80	79.0
3.20	70.0	3.60	77.0
3.00	64.0	3.60	77.0
2.80	55.5	3.20	70.0
3.00	64.0	3.00	64.0
3.40	73.5	2.80	55.5
3.00	64.0	3.20	70.0
2.20	26.5	2.40	38.0
2.40	38.0	1.40	2.5
2.40	38.0	2.00	17.0
5.00	80.0	1.60	7.0
1.60	7.0	2.60	48.0
2.80	55.5	2.00	17.0
2.40	38.0	2.00	17.0
2.40	38.0	2.00	17.0
2.40	38.0	2.80	55.5
3.00	64.0	1.60	7.0
1.60	7.0	2.20	26.5
2.20	26.5	2.40	38.0
2.00	17.0	2.60	48.0
1.40	2.5	2.80	55.5
1.60	7.0	2.00	17.0
1.60	7.0	2.80	55.5
3.00	64.0	2.80	55.5
2.60	48.0	2.20	26.5
2.60	48.0	2.20	26.5
1.00	1.0	2.40	38.0
2.00	17.0	2.60	48.0
2.20	26.5	2.00	17.0
3.40	73.5	1.60	7.0

2.40	38.0	1.80	11.5
2.40	38.0	1.80	11.5
3.60	77.0	2.80	55.5
3.40	73.5	2.40	38.0

Rangsummen R1 = 1631.5

R2 = 1608.5

Mittelwert

2.514

2.489

Standardabweichung

0.715

0.597

Testgröße: nach WILCOXON: 11.500

Parameter 3

1. Stichprobe		2. Stichprobe	
Meß- werte	Rang- zahlen	Meß- werte	Rang- zahlen
2.00	15.5	2.00	15.5
3.60	75.5	2.20	28.0
2.60	41.0	3.00	57.0
2.20	28.0	3.00	57.0
2.20	28.0	4.00	79.5
2.40	70.5	3.40	70.5
2.40	35.5	2.00	15.5
2.00	15.5	3.00	57.5
2.60	41.0	3.60	75.5
3.40	70.5	3.20	64.0
3.40	70.5	3.80	78.0
3.20	64.0	3.60	75.5
2.80	48.5	2.80	48.5
2.00	15.5	2.60	41.0
2.80	48.5	2.00	15.5
2.60	41.0	2.00	15.5
4.00	79.5	1.60	2.0
2.20	28.0	1.60	2.0
2.40	35.5	1.60	2.0
3.00	58.0	3.60	75.5
3.20	64.0	2.00	15.5
2.80	48.5	2.80	48.5
2.80	48.5	2.20	28.0

2.00	15.5	3.20	64.0
2.60	41.0	3.00	57.0
2.40	35.5	1.90	5.5
1.80	5.5	2.00	15.5
1.80	5.5	3.20	64.0
2.40	35.5	3.40	70.5
3.80	48.5	2.80	48.5
2.20	28.0	2.00	15.5
2.20	28.0	2.00	15.5
2.40	35.5	2.00	15.5
3.00	57.0	1.80	5.5
2.80	48.5	2.40	35.5
3.40	70.5	2.80	48.5
2.20	28.0	2.00	15.5
3.20	64.0	2.00	15.5
3.00	57.0	2.20	28.0
3.20	64.0	2.00	15.5

Rangsummen R1 = 1737.5

R2 = 1502.5

Mittelwert

2.674

2.554

Standardabweichung

0.539

0.690

Testgröße: nach WILCOXON: 117.500

D) DISKUSSION

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung beim Vergleich der aufgetretenen Gußfehler sind aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit in der folgenden Tabelle zusammengefaßt. Danach kann die Hypothese, daß beide Gußgeräte bezüglich der Gußqualität gleichwertige Güsse liefern, größtenteils mit 95%iger Wahrscheinlichkeit als richtig angenommen werden. Bei Legierung 1/Parameter 1 und Legierung 1/über alle Parameter liegt der Wert sogar innerhalb einer Signifikanzgrenze von 99%. Nur beim Vergleich Legierung 3/Parameter 3 und Legierung 3/über alle Parameter liegt der errechnete Wert außerhalb der Grenzen. In diesem Fall ist die Hypothese also zu verwerfen. Der Grund hierfür dürfte in der relativ geringen Stichprobenzahl zu suchen sein.

Die Gefügeuntersuchung fällt zwar nicht ganz so deutlich aus, zeigt aber beim Vergleich der Legierungen DEGUDENT NORMAL und Nr. 4437 eine deutliche gleichsinnige Korrelation mit den Werten $+ 0.3243$ und $+ 0.4177$. Ein funktionaler Zusammenhang der beiden Meßreihen ist jedoch nicht gegeben. Der Wert $- 0.0876$ bei der Legierung DEGUDENT UNIVERSAL fällt gegenüber den anderen stark ab.

Dies zeigt deutlich, daß meine Ergebnisse nicht mit den

Feststellungen der Autoren FINGER, JUNG und QUAST¹⁰ übereinstimmen. Sie fanden bei ihren Untersuchungen über den Vergleich von Schleuderguß und Vakuum-Druck-Guß heraus, daß Kronen, die im Schleudergußverfahren hergestellt wurden, häufiger relativ große Lunker am Gußkanal, dem äußeren Kronendeckel und am Knie zeigten, während die im Vakuum-Druck-Guß-Verfahren angefertigten Kronen weniger und kleinere Lunker aufwiesen, die meist statistisch verteilt waren. Die Auswertung der Schliffbilder ergab außerdem, daß zwischen den einzelnen Gußverfahren unterschiedliche Korngrößen festzustellen sind, d.h. daß das Gußgefüge auch vom Gußverfahren abhängig ist. Zu derselben Erkenntnis kam auch FAESCH, der feststellte, daß die Homogenität der Güsse von der benützten Gußtechnik abhängt und aus diesem Grund der Dampfgußmethode den Vorzug gibt, ebenso wie ROCHES, der dieses Verfahren für das sicherste hält, obwohl die röntgenologisch festgestellten Unterschiede zwischen Schleuder-Dampf- und Druckluftverfahren sehr gering waren (nach GRÜNDLER¹⁶). SCHÖN³⁴ fehlte bei seinen Versuchen mit dem Vakuum-Druck-Guß-Gerät zwar der direkte Vergleich mit dem Schleuderguß, er fand jedoch - bis auf wenige Ausnahmen - weder Makroporositäten oder sichtbare Lunker, noch Kohlenstoffeinschlüsse, wie sie seiner Meinung nach beim Schleuderguß häufiger zu finden seien. Nach MARX²⁸, der Handschleuder, Sirkusschleuder, Tiegelschleuder und Druckluft-Gußapparat miteinander verglich, sind alle genannten Verfah-

ren im Hinblick auf das Auftreten von Makroporositäten zur Herstellung kleinerer Güsse geeignet; bei größeren Güssen sei die Tiegelschleuder den übrigen Verfahren vorzuziehen. Das Auftreten von Mikroporositäten wird sowohl bei kleinen als auch bei großen Güssen nur relativ wenig von der Mechanik des Gußapparates beeinflußt.

Somit besteht bezüglich der Frage nach dem Einfluß der verwendeten Gußapparaturen auf das Auftreten von Gußfehlern und die Beschaffenheit des Gußgefüges Übereinstimmung mit den Autoren BONSACK², GRÜNDLER¹⁶, LOEBICH^{26,27}, MARX²⁸, RITZE³⁰, SCHÖN³⁴, WAGNER⁴³ u.a. darüber, daß das Gießverfahren davon völlig unabhängig ist und der Grund hierfür vielmehr in den Gießbedingungen, der Abkühlungsgeschwindigkeit, der Gestalt des Gußobjekts, der Form des Gußkanals und des verlorenen Kopfes, der Einbettmasse und der Zusammensetzung der Legierung selbst zu suchen ist.

	L1 P1 n = 16	L2 P1 n = 16	L3 P1 n = 8	L1 P2 n = 16	L2 P2 n = 16	L3 P2 n = 8	L1 P3 n = 16	L2 P3 n = 16	L3 P3 n = 8
99%	ja	-	-	-	-	-	-	-	-
95%	-	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	-
zu verwerfen	-	-	-	-	-	-	-	-	ja

	L1 alle P n = 48	L2 alle P n = 48	L3 alle P n = 24	P1 alle L n = 40	P2 alle L n = 40	P3 alle L n = 40
99%	ja	-	-	-	-	-
95%	-	ja	-	ja	ja	ja
zu verwerfen	-	-	ja	-	-	-

Legende:

L = Legierung

P = Parameter

n = Stichprobenanzahl

Erklärung der Legierungen und der Parameter

siehe Seite 49

E) Z U S A M M E N F A S S U N G

In der vorliegenden Arbeit wurden die beiden heute gebräuchlichsten Gußverfahren wie Schleuderguß und Vakuum - Druck - Guß miteinander verglichen. Es sollte die Frage geklärt werden, ob das Auftreten von Lunkern und der mittlere Korndurchmesser der Legierungen vom Gußverfahren abhängig ist.

Dazu wurden aus den Aufbrennlegierungen DEGUDENT UNIVERSAL, DEGUDENT NORMAL und der Versuchslegierung 4437 der Firma DEGUSSA mit beiden Gußverfahren insgesamt 80 Kronen hergestellt. Die davon angefertigten Schliffbilder wurden auf Makro- und Mikroporositäten untersucht und die Gefügebilder nach der Linearanalyse ausgewertet. Die statistische Auswertung nach dem WILCOXON-Test bzw. über den Korrelationskoeffizienten brachte folgendes Ergebnis:

Gußfehler und Gußgefüge sind nicht vom Gußverfahren abhängig.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- 1) BEECK, K.-H.
Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gußverfahren und
ihre praktische Auswertung
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 470 (1958)
- 2) BONSACK, Ch.
Der heutige Stand des Gußproblems
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 67 (1953)
- 3) DEGUSSA
Das DEGUSSA-Präzisionsguß-System
DEGUSSA - Brief, Neue Folge, 42 (1972)
- 4) DEGUSSA
Die Verarbeitung der Degudent-Legierungen
VITA-VMK/-DEGUDENT-TECHNIK 2
- 5) DREYER - JØRGENSEN, K.
Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 461 (1958)
- 6) DREYER - JØRGENSEN, K.
Untersuchungen über Präzisionsgußtechnik
Quintess. Ref. 493, 9 (1954)
- 7) ENGLER, S.
Das Volumendefizit bei der Erstarrung metallischer
Schmelzen
Z. Metallkunde 56, 327 (1963)
- 8) EXNER, H.-E. und FISCHMEISTER, H.F.
Die Anwendung der Linearanalyse zur quantitativen
Gefügebeschreibung von Wolfram-Karbid-Legierungen
Vortrag: 11. Metallkundekolloquium St. Christoph/
Arlberg 1965

- 9) FAESCH, TH.
Untersuchungen über Gußstruktur und Gießverfahren
bei verschiedenen zahnärztlichen Kronen- und Brücken-
legierungen
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 49, 797 (1939)
- 10) FINGER, W., JUNG, T., QUAST, U.
Das Gußgefüge nach Vakuum-Druck-Guß und nach
Schleuderguß
Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 111 (1975)
- 11) FISCHMEISTER, H.
Verfahren und Apparate der quantitativen Metallo-
graphie
Vortrag: 1. Internationaler Kongreß für Stereo-
logie, Wien 1963
- 12) FRITSCH, C., ELBRECHT, A., NOWACK, L.
Das Gießen mit dem verlorenen Kopf
Zahnärztl. Rundsch. 39, 709 (1930)
- 13) FUSAYAMA, T.
Faktoren und Technik beim Präzisionsguß
Quintess. Ref. 1328, 12 (1959)
- 14) GRASSL, J.-F.
Verbesserung der Oberfläche von Güssen durch Netz-
mittel und Vakuumeinbettung
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 1057 (1954)
- 15) GREVE, K.
Über die Entwicklung des Metallgußverfahrens in
der Zahnheilkunde
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 44, 533 (1922)
- 16) GRÜNDLER, H.
Das moderne Guß- und Lötverfahren in der Zahntechnik
Das Dentallabor 3, 113/4, 169/5, 227 (1968)
- 17) HARNDT, E.
Der Goldguß in der zahnärztlichen Praxis
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 36, 710 (1933)

- 18) HEHRING, H.
Die prozentualen linearen Veränderungen eines Palliag-
gusses in Abhängigkeit von verschiedenen Einbettungs-
methoden
Med. Diss. Berlin (1955)
- 19) HENNING, G.
Ein neues Vakuum-Druck-Guß-Verfahren für den Edel-
metallguß
Das Dentallabor 4, 25 (1971)
- 20) HOLLENBACK, G. M.
Science and Technic of the Cast Restoration
C. V. Mosby. Co. St. Louis 1964
- 21) HOLLENBACK, G. M.
Vergleich der Genauigkeit von drei verschiedenen
Gußmethoden
Quintess. Ref. 2219, 10 (1963)
- 22) ILG, V. K.
Untersuchungen zur " indirekten Technik "
Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 1305 (1959)
- 23) KNAPPWOST, A.
Über das thermische Expansions- und Kontraktions-
verhalten von Dentallegierungen und Einbettmassen
und deren Beziehung zur Sekundärkaries
Zahnärztl. Welt 4, 523 (1949)
- 24) KREYSZIG, E.
Statistische Methoden und ihre Anwendung
Vandenhoek-Verlag Göttingen 1965
- 25) KYSELOVA, J., KYSELA, B., MARES, J.
Kontraktionsdefekte der Dentalgüsse und Möglich-
keiten ihrer Beseitigung
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 1310 (1958)

- 26) LOEBICH, O.
Der Lunker und seine Vermeidung
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 1037 (1953)
- 27) LOEBICH, O.
Das Gefüge von Goldgußarbeiten
Dtsch. zahnärztl. Z. 2, 1149 (1953)
- 28) MARX, H.
Über den Einfluß des Gußverfahrens auf die
Poren- und Lunkerbildung
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1228 (1967)
- 29) NÜNLIST, U.-A.
Die Einbettungsverfahren von Kronrnrnmodellen
und die Genauigkeit von Dentalgoldlegierungen
Med. Diss. Zürich (1966)
- 30) RITZE, H.
Grundsätzliches zum Einbett- und Gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1206 (1967)
- 31) ROCHES, J.-P.
Technologische Untersuchungen über zahnärztliche
Schmelz- und Gußverfahren
Med. Diss. Bern (1946)
- 32) SACHS, L.
Statistische Methoden
Springer Verlag Berlin/Heidelberg 1970
- 33) SCHEFFLER, K.
Der Einfluß verschiedener Gußmethoden auf die
Beschaffenheit der Gußstücke in der zahnärztli-
chen Praxis
Med. Diss. Frankfurt (1931)

- 34) SCHÖN, E.
Experimentelle Untersuchungen des Gußgefüges des
Kronenrandes beim Vakuumdruckguß
Med. Diss. München (1972)
- 35) SCHMITT, K. H.
Die Vermeidung von Fehlern und Mißerfolgen
bei Metallgüssen
Dtsch. zahnärztl. Z. 4, 1496 (1949)
- 36) SCHRAFT, E.
Untersuchungen der Dimensionsänderung von ge-
gossenen Metallkronen im Vergleich zu ihrem
Wachsmodell
Med. Diss. München (1973)
- 37) SPANNER, J.
Grundlagen der Gußtechnik
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 43 (1933)
- 38) SPRINGER, O.
Thermoanalytische Untersuchungen an gips- und
phosphatgebundenen Einbettmassen
Med. Diss. München (1975)
- 39) TAEGE, F.
Moderne zahnärztliche Gußverfahren
Dtsch. Stomat. 7, 182 (1957)
- 40) VOSS, R.
Zu speziellen Fragen der Gußtechnik
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1220 (1967)
- 41) VOSS, R.
Möglichkeiten und Grenzen der Metallkeramik
Zahnärztl. Welt 79, 139 (1970)
- 42) WAGNER, E.
Die theoretischen Grundlagen der VITA-VMK-Degu-
dent-Technik
Zahnärztl. Welt/Reform 66, 343 (1965)

- 43) WAGNER, E.
Beitrag zum Präzisionsgußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1215 (1967)
- 44) ZÄHRINGER, W.
Guß- und Angußkronen
Med. Diss. München (1963)

Für die Überlassung des Themas möchte ich Herrn Professor Dr. Dr. Peter FUCHS herzlich danken. Ebenso danke ich der Firma DEGUSSA Pforzheim für die großzügige Bereitstellung sämtlicher Materialien und Apparaturen. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Helmut KNOSP aus der Technologischen Abteilung der Firma DEGUSSA Pforzheim für seine tatkräftige Unterstützung und die wertvollen Hinweise beim Entstehen dieser Arbeit. Ebenso danke ich Herrn FEDERKIEL vom Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München, der mir bei der statistischen Auswertung hilfreich zur Seite stand.

L E B E N S L A U F

Am 28. August 1950 wurde ich, Wolfgang Michael Küfmann, als Sohn des Oberlehrers Franz Küfmann und seiner Frau Berta, geb. Thiel, in Bad Reichenhall geboren.

Von 1956 bis 1960 besuchte ich die Volksschule in Inzell und wechselte anschließend in das Chiemgau-Gymnasium in Traunstein über, wo ich 1969 am mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1969/70 begann ich das Studium der Zahnmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München und legte nach dem Sommersemester 1970 die naturwissenschaftliche zahnärztliche Vorprüfung, nach dem Wintersemester 1971/72 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Das Staatsexamen bestand ich nach dem Sommersemester 1975.

Von Oktober 1975 bis März 1977 arbeitete ich als Verwalter der Dienstgeschäfte eines wissenschaftlichen Assistenten in der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Universität München. Seitdem bin ich als alleiniger Vertreter in einer Praxis in Fürstenfeldbruck tätig.

